

## Non-invasive temperature sensor for process technology, power stations, chemical plant and food production

**Publication number: DE19800753**

**Publication date:** 1999-07-22

**Inventor:** MOCK RANDOLF DR (DE); KAPPEL ANDREAS DR (DE); MEIXNER HANS PROF (DE); WURLL PETER DIPL ING (DE)

**Applicant:** SIEMENS AG (DE)

**Classification:**

- **international:** **G01K1/14; G01K1/14; (IPC1-7): G01F1/66; G01K13/00; G01F1/68**

**- european:** G01K1/14B

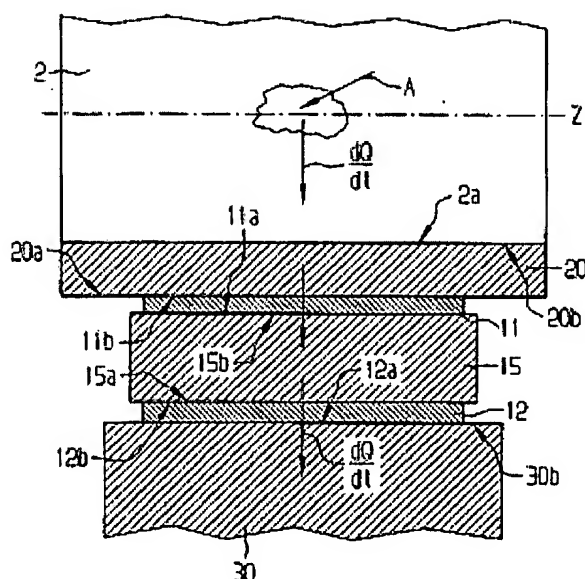
**Application number:** DE19981000753 19980112

**Priority number(s):** DE19981000753 19980112

**Report a data error here**

## Abstract of DE19800753

The non-invasive temperature sensor provides temperature monitoring and measurement within a medium (2) esp. a fluid flowing in a tube (20). The sensor has a first (11) and a second (12) thermosensor extending essentially flat. The thermosensors are separated from each other by a heat transfer medium (15). Each sensor has one surface bounding the heat transfer medium. The other surface of the second sensor is in heat-conductive contact with a surface of a body formed as a heat sink. The other surface of the first sensor is in heat-conductive contact with a surface of the medium.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 00 753 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 K 13/00**  
G 01 F 1/68  
// G 01 F 1/66

⑦① Aktenzeichen: 198 00 753.1  
⑦② Anmeldetag: 12. 1. 98  
④③ Offenlegungstag: 22. 7. 99

DE 198 00 753 A 1

⑦① Anmelder:  
Siemens AG, 80333 München, DE

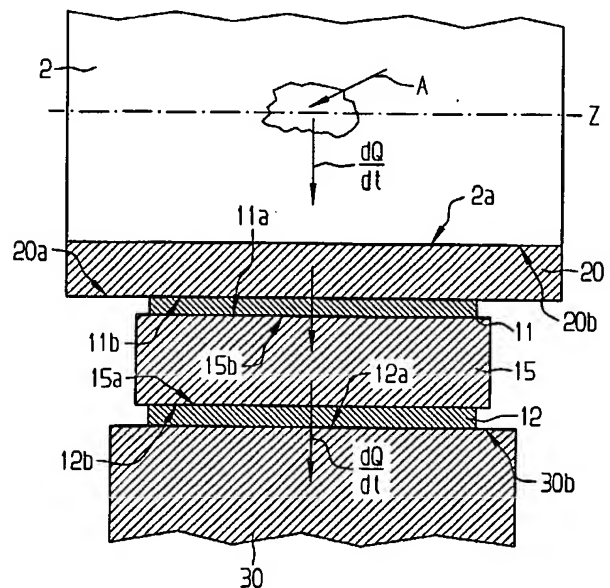
⑦② Erfinder:  
Mock, Randolph, Dr., 81739 München, DE; Kappel,  
Andreas, Dr., 81369 München, DE; Meixner, Hans,  
Prof., 85540 Haar, DE; Wurll, Peter, Dipl.-Ing., 76185  
Karlsruhe, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
US 48 12 050  
US 32 86 524  
EP 07 56 161 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤④ Sensor für und Verfahren betreffend nicht-invasive Temperaturmessung, insbesondere für den Einsatz in der Prozeßtechnik
- ⑤⑦ Sensor für nicht-invasive Temperaturmessung, insbesondere in einem Fluid, das in einem Rohr (20) strömt. Aus dem Wärmeflußverhalten ( $dQ/dt$ ) und extern gemessenen Temperaturen (11, 12) wird die zu messende Temperatur ( $T_M$ ) ermittelt.



DE 198 00 753 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und einen zur Durchführung dieses Verfahrens ausgebildeten Sensor zur Temperaturmessung und Temperaturüberwachung, betreffend einen Körper bzw. insbesondere ein Fluid (Flüssigkeit oder Gas), wobei die Temperatur in einem inneren Bereich des Körpers/Fluids zu erfassen ist.

5 Zum Beispiel wird in der Prozeßtechnik, in Kraftwerken, Chemieanlagen, der Lebensmittelproduktion und dergleichen, die Temperatur, die im Inneren eines Körpers bzw. innerhalb eines in einer Rohrleitung transportierten Fluids herrscht mit Hilfe von Temperatursensoren bestimmt, die nach dem klassischen Prinzip arbeiten, z. B. am Meßort positionierte Thermoelemente, Platinwiderstände und dgl. sind. Damit diese Temperaturfühler zuverlässige Daten liefern, muß deren Meßspitze unmittelbar vom Medium umgeben/umspült sein. Dies erfordert z. B. bei der Messung im Inneren eines Rohres einer Förderleitung, daß an entsprechender Stelle in der Rohrwandung ein Durchbruch vorgesehen ist, durch den ein solcher Sensor in das Medium/Fluid eingeführt ist. Bei Prozeßtemperaturen bis zu 500°C, insbesondere zusammen mit Druck im Bereich von mehreren 100 bar und/oder bei Fließgeschwindigkeiten bis an die Schallgeschwindigkeit heran, sind nicht nur der Sensor selbst, sondern auch der Durchbruch in der Rohrwandung sehr hohen Materialbelastungen ausgesetzt. Neben der Tatsache, daß ein solcher Sensor einem hohen Verschleiß unterliegt, ist auch die Gefahr gegeben, daß die z. B. Schweißung, mit der ein solcher Sensor üblicherweise am/im Rohr befestigt ist, bricht. Dies ist eine Funktionsstörung, die z. B. außerplanmäßigen Stillstand der Prozeßanlage erzwingt. Lediglich am Rande sei auf die mit einem solchen Prozeßstillstand und/oder für das Wiedereingangssetzen des Prozeßablaufes verbundenen Unkosten hingewiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß in Frage kommende Prozeßanlagen häufig eine Vielzahl, typisch etwa 100, derartige Sensoren enthalten, so daß hohe Wahrscheinlichkeit für eine Störung infolge eines Ausfalls nur eines Sensors gegeben ist.

Einschlägiger Stand der Technik ist, mit invasiven Sensoren zu arbeiten, wobei zur Vermeidung der o.g. Probleme überdimensionierte Bewehrungen der Bohrungen und dgl. und ständige Kontrolle der Schweißnähte und Verschraubungen vorgesehen ist.

25 Die vorliegende Erfindung hat zur Aufgabe, solche aus dem Stand der Technik bekannten Probleme zu beheben bzw. zu umgehen. Die Lösung dieser Aufgabe gibt die Merkmalskombination des Patentanspruches 1 bzw. 2 an.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Idee zugrunde, von der Praxis der invasiven Sensoren abzugehen und ein Verfahren und zugehörigen Sensor zu finden und vorzusehen, mit dem eine nicht-invasive Meßtechnik auszuführen ist. Die Erfindung ist ein Verfahren mit einem bzw. ist ein Wärmefluß-Sensor, wobei die physikalischen Größen erfaßt/ausgenutzt werden bzw. sind, die immanente Merkmale eines Wärmeflusses sind.

Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel beschrieben, bei dem es sich um Temperaturmessung im Inneren eines strömenden Fluids (Gas oder Flüssigkeit) handelt, das sich in einer Rohrleitung befindet und von dem die im zentralen inneren Bereich der Strömung herrschende Temperatur nicht-invasiv ermittelt/überwacht werden soll.

30 Zur einfacheren Erläuterung der Erfindung dient die beigefügte Fig. 1, die nachfolgend, und zwar ohne daß durch dieses Beispiel die Erfindung beschränkt sein soll, beschrieben wird.

In der Figur ist mit A ein Ortsbereich angegeben, für den die Temperatur  $T_M$  des dort z. B. strömenden Fluids 2 zu bestimmen ist. Der Ort liegt z. B. auf der zentralen Achse Z des Rohres 20, das in der Figur im Schnitt gezeigt und mit 20 bezeichnet ist. Mit 15 ist eine Wärme-Barriere bezeichnet, die ein Wärmeübergangsmedium ist. Dieses Wärmeübergangsmedium 15 liegt flächig an der Außenwand 20a des Rohres 20 an. Zwischen dieser Außenwand 20a und der Fläche 15b des Wärmeübergangsmediums 15 ist ein flächiger Thermosensor 11 angeordnet. Seine beiden Oberflächen 11b und 11a haben einen guten wärmefluß-schlüssigen Kontakt mit der Außenwand 20a der Rohrwandung 20 einerseits und mit der angrenzenden Fläche 15b des Wärmeübergangsmediums 15 andererseits. Mit dem Sensor 11 ist die Temperatur  $T_a$  der Außenwand 20a zu messen.

45 Als Thermosensor eignet sich z. B. ein im einschlägigen Handel erhältliches Temperatur-Meßelement PT100. Ein solches Meßelement ist sehr dünn und relativ wärmeleitend, so daß in einem solchen Element kein wesentlicher Temperaturabfall eintritt.

Die andere Fläche 15a des Wärmeübergangsmediums 15 grenzt flächig mit wärmefluß-schlüssigem Kontakt an den zweiten Thermosensor 12 an, und zwar an dessen Außenfläche 12b. Die zweite Oberfläche 12a dieses Sensors 12 grenzt wiederum mit wärmefluß-schlüssigem Kontakt an der Fläche 30b eines Körpers 30 an diesen an. Mit diesem Sensor 12 ist die Temperatur  $T_{REF}$  zu messen. Dieser Körper 30 dient bei der Erfindung als eine Wärmesenke. Umgeben ist dieser Körper 30 von z. B. Luft mit Umgebungstemperatur  $T_{UMG}$ .

Die wärmefluß-schlüssigen Kontakte sind wie in der Figur in der axialen Richtung auch in der zur Zeichnungsebene senkrechten Richtung (der Rundung der Rohrwandung angepaßt) ausgedehnt bemessen, so daß die aneinandergrenzenden Flächen entsprechenden flächenmäßig ausgedehnten Wärmeübergang gewährleisten.

55 Der erfindungsgemäße Wärmefluß-Sensor arbeitet wie nachfolgend beschrieben. Aus dem Bereich A, für den die Temperatur im Fluid zu messen/bestimmen ist, und der sich auf gegenüber der Umgebungstemperatur hoher Prozeßtemperatur befindet, fließt eine Wärmemenge  $dQ$  pro Zeiteinheit  $dt$  zur Fläche 2a der Randzone des Mediums 2. Aus dieser Randzone tritt diese Wärmemenge durch die Innenseite 20b in die Rohrwandung 20 über und fließt dem Temperaturgefälle entsprechend zur Außenfläche 20a dieser Rohrwandung. Die Bemessungen sind (soweit erforderlich) dabei hinsichtlich des Verhältnisses der Wärmefluß-Übergangsfläche zur Rohrwanddicke so gewählt, daß Wärmeabfluß in lateralen Richtungen vernachlässigbar ist. Die durch die Rohrwandung 20 hindurchfließende Wärmemenge ist wiederum  $dQ$  pro Zeiteinheit  $dt$ . Von der Außenfläche 20a des Rohres tritt diese Wärmemenge  $dQ$  über die angrenzende Außenfläche 11b in den Sensor 11 ein. Somit kann die Temperatur  $T_a$  der Außenfläche 20a gemessen werden. Von dem Sensor 11 fließt über dessen weiterer Fläche 11a die Wärmemenge  $dQ$  über den Wärmekontakt mit der Fläche 15b des Wärmeübergangsmediums 15 in dieses hinein. Es ist auch hier vorgesehen, daß in Querrichtung kein störender Wärmeverlust eintritt. Durch das Wärmeübergangsmedium 15 fließt wiederum die Wärmemenge  $dQ$  über die Fläche 15a des Wärmeübergangsmediums 15 und die mit ihr in Wärmefluß-Kontakt stehende Fläche 12b des Sensors 12 in diesen hinein. Im Sensor 12 kann die dort erreichte/herrschende Temperatur  $T_{REF}$  gemessen werden. Weiter fließt die Wärmemenge  $dQ$  durch die

weitere Fläche 12a des zweiten Sensors 12 über die damit in Wärme fluß-Kontakt stehende Fläche 30b des Körpers 30 in diesen hinein. Der Körper 30 wird vorzugsweise auf der Temperatur  $T_{REF}$  gehalten und ist als Wärmesenke mit konstanter Temperatur wirksam.

Wie beschrieben fließt also die Wärmemenge  $dQ$  über mehrere Wärme fluß-Kontakte a-b durch die aneinandergereihten Medien bzw. Sensoren 20, 11, 15, 12 in den Körper 30.

Sofern es sich um eine Temperaturmessung in einem festen Körper handelt, ist z. B. die Rohrwandung 20 als Anteil des Mediums 2 zu verstehen, so daß in der Figur die dort gestrichelt eingetragene Grenze zwischen den dann nicht vorhandenen Flächen 2a und 20b entfällt.

Für den gesamten Wärme fluß (der Anordnung mit dem Rohr 20) kann das folgende Gleichungssystem angegeben werden:

$$dQ/dt = \alpha (T_M - T_i);$$

im Fluid-Medium 2

$T_M$  = Temperatur des Fluid-Mediums am Ort A

$T_i$  = Temperatur der Rohrwand-Innenseite 20b

$$dQ/dt = \lambda_{20} (T_i - T_a);$$

in der Rohrwandung 20

$T_a$  = Temperatur der Rohrwand-Außenseite (20a) (entfällt bei festem Körper, dann  $T_i = T_a$ )

$$dQ/dt = \lambda_{15} (T_a - T_{REF})$$

im Wärmeübergangsmedium 15

$T_{REF}$  = Temperatur der Wärmesenke.

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{20}$  des Materials der Rohrwandung 20 und die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_{15}$  des Wärmeübergangsmediums 15 sind bekannt. Die Temperaturen  $T_a$  und  $T_{REF}$  werden mit den Thermosensoren 11 und 12 gemessen. Aus den Gleichungen ergibt sich dann die Temperatur  $T_i$ .

Für die Auflösung dieses Gleichungssystems nach  $T_M$  ist nur noch der Wert  $\alpha$ , nämlich die Wärmeleitfähigkeit des Mediums 2 zu ermitteln. Bekanntermaßen ist der Wert  $\alpha$  eines Fluids abhängig von der Temperatur, dem Druck, dem Volumen, der spezifischen Wärme bei der gegebenen Temperatur. Da die Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  in komplexer Weise von den genannten Größen abhängig, ist es notwendig, daß sich diesbezüglich die Auswertung auf eine Wissensbasis stützt, die  $\alpha$  in Abhängigkeit von den genannten Größen oder aber auf der Basis eines Gesamtmodells der betreffenden Anlage angibt. In einem ersten Falle können Druck- und Fließgeschwindigkeit mittels anderer (ebensofalls nicht-invasiver) Sensoren ermittelt werden, z. B. der Druck mittels eines Dehnungs-Meßstreifens auf der Rohrinnenwand und die Fließgeschwindigkeit mittels einer Ultraschall-Dopplermessstrecke bekannter Art gemessen werden. Diese Größen werden wie die Temperatur standardmäßig in der Prozeßleittechnik erfaßt. In einem zweiten Falle wird als Wissensbasis ein Modell der Anlage zugrundegelegt. Zum Beispiel kann auch ein Wärme-Atlas (VDI-Wärmeatlas, Berechnungsblätter für den Wärmeübergang, 5. erw. Auflage, VDI-Verlag) hinzugezogen werden, in dem für sehr viele Fluids die entsprechenden Daten, die zur Ermittlung des Wertes  $\alpha$  benötigt werden, aufgezeichnet sind.

Mit den gemessenen Temperaturwerten  $T_a$  und  $T_{REF}$  der Wärme flußsensoren 11, 12 kann dann mittels der Wissensbasis auf die Temperatur der vorgegebenen Meßstelle A zurückgerechnet werden.

Beide Lösungen involvieren eine rechnergestützte Auswertung. Im einfachsten Falle ermittelt der Rechner die gesuchten Meßwerte anhand von Kennfeldern, wobei die Signale der verschiedenen Meßstellen miteinander korreliert werden können (auch im Sinne von physikalischer Konsistenz der Daten). Hierbei können Druck- und Geschwindigkeits-Sensoren miteinbezogen werden. Im zweiten Falle hat man einen Mikro-Controller als Recheneinheit, der als Algorithmus ein dynamisches Modell der gesamten Anlage oder der relevanten Teile derselben beinhaltet.

#### Patentansprüche

1. Nicht-invasiver Temperatursensor, zur Temperaturüberwachung/-messung im Inneren eines Mediums (2), mit einem ersten (11) und einem zweiten (12) im wesentlichen sich flächig erstreckenden Thermosensor, wobei dieser erste und der zweite Thermosensor durch ein vorgesehenes Wärmeübergangsmedium (15) voneinander getrennt mit jeweils einer seiner Flächen (11a, 12b) an dieses Wärmeübergangsmedium auf dessen einander gegenüberliegenden Flächen (15b, 15a) desselben wärme fluß-schlüssig an dieses (15) angrenzend angeordnet sind, wobei die andere Fläche (12a) des zweiten Thermosensors (12) in wärme fluß-schlüssigem Kontakt mit einer Fläche (30b) eines als Wärmesenke ausgebildeten und bemessenen Körpers (30) angeordnet ist, und wobei die andere Fläche (11b) des ersten Sensors (11) in wärme fluß-schlüssigem Kontakt mit einer Fläche (20a) des Mediums (2, 20) angeordnet ist.
2. Nicht-invasiver Temperatursensor, zur Temperaturüberwachung/-messung im Inneren eines an der Innenseite (20b) einer Wandung (20) angrenzenden Fluid-Mediums (2), mit einem ersten (11) und einem zweiten (12) im wesentlichen sich flächig erstreckenden Thermosensor, wobei dieser erste und der zweite Thermosensor durch ein vorgesehenes Wärmeübergangsmedium (15) voneinander

der getrennt mit jeweils einer seiner Flächen (11a, 12b) an dieses Wärmeübergangsmedium auf dessen einander gegenüberliegenden Flächen (15b, 15a) desselben wärme flu ß - schlüssig an dieses (15) angrenzend angeordnet sind, wobei die andere Fläche (12a) des zweiten Thermosensors (12) in wärme flu ß - schlüssigem Kontakt mit einer Fläche (30b) eines als Wärmesenke ausgebildet und bemessenen Körpers (30) angeordnet ist, und  
 5 wobei die andere Fläche (11b) des ersten Thermosensors (11) in wärme flu ß - schlüssigem Kontakt mit der Außenseite (20a) dieser Wandung (20) an dieser angeordnet ist.

3. Verfahren zum Betrieb eines Sensors nach Anspruch 2, bei dem das Wärmeleitvermögen ( $\alpha$ ) des Fluid-Mediums (2) aus einem Wärme-Atlas entnommen und das Gleichungssystem

$$dQ/dt = \alpha (T_M - T_i);$$

im Fluid-Medium 2

$T_M$  = Temperatur des Fluid-Mediums am Ort A

$T_i$  = Temperatur der Rohrwand-Innenseite 20b

$$dQ/dt = \lambda_{20} (T_i - T_a);$$

in der Rohrwandung 20

$T_a$  = Temperatur der Rohrwand-Außenseite (20a)

$$dQ/dt = \lambda_{15} (T_a - T_{REF})$$

im Wärmeübergangsmedium 15

$T_{REF}$  = Temperatur der Wärmesenke

nach dem Temperaturwert ( $T_M$ ) des Fluid-Mediums (2) am Ort (A) aufgelöst wird.

4. Verfahren zum Betrieb eines Sensors nach Anspruch 2, bei dem das Wärmeleitvermögen ( $\alpha$ ) des Fluid-Mediums (2) mit Hilfe eines Modells der Anlage ermittelt und das Gleichungssystem

$$dQ/dt = \alpha (T_M - T_i);$$

im Fluid-Medium 2

$T_M$  = Temperatur des Fluid-Mediums am Ort A

$T_i$  = Temperatur der Rohrwand-Innenseite 20b

$$dQ/dt = \lambda_{20} (T_i - T_a);$$

in der Rohrwandung 20

$T_a$  = Temperatur der Rohrwand-Außenseite (20a)

$$dQ/dt = \lambda_{15} (T_a - T_{REF})$$

im Wärmeübergangsmedium 15

$T_{REF}$  = Temperatur der Wärmesenke

nach dem Temperaturwert ( $T_M$ ) des Fluid-Mediums (2) am Ort (A) aufgelöst wird.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

